第 37 卷第 5 期
2017 年 3 月

生 态 学 报
ACTA ECOLOGICA SINICA

Vol.37,No.5
Mar.,2017

DOI: 10.5846/stxb201509241960

江姗,赵光影,臧淑英,邵宗仁.排水对小兴安岭森林沼泽湿地溶解性有机碳和有效氮磷的影响.生态学报,2017,37(5):1401-1408.
Jiang S,Zhao G Y,Zang S Y,Shao Z R.Effect of drainage on dissolved organic carbon and available nitrogen and phosphorus in the wetland forests of Xiaoxing'an Mountain.Acta Ecologica Sinica,2017,37(5):1401-1408.

排水对小兴安岭森林沼泽湿地溶解性有机碳和有效氮磷的影响

江 姗,赵光影*,臧淑英,邵宗仁

黑龙江省普通高等学校地理环境遥感监测重点实验室,哈尔滨师范大学, 哈尔滨 150025

摘要:选取不同排水年限的兴安落叶松人工林湿地(1974 年排水、1985 年排水、1992 年排水、2003 年排水)和天然森林沼泽湿地(兴安落叶松沼泽湿地)为研究对象,探讨排水对小兴安岭森林沼泽湿地土壤溶解性有机碳(DOC)和有效氮磷的影响。结果表明,天然沼泽排水后,在土壤垂直剖面上,不同排水年限的森林湿地与天然沼泽湿地的土壤溶解性有机碳含量均呈递减变化。与天然森林沼泽湿地相比,排水湿地各土层 DOC 含量均显著低于天然沼泽湿地($P<0.05$)。天然森林沼泽,表层(0—10 cm)的土壤 SOC 含量、DOC/SOC、土壤有效氮含量均大于排水森林沼泽,但是有效磷含量却低于排水森林沼泽($P<0.05$)。在土壤表层(0—10 cm),排水年限与 DOC、SOC、DOC/SOC、土壤有效氮呈显著性负相关,与有效磷呈显著性正相关($P<0.05$)。天然沼泽排水后,表层(0—10 cm)土壤的 DOC 含量与有效氮(铵态氮、硝态氮)含量成正比,与有效磷含量成反比($P<0.05$)。

关键词: 排水;小兴安岭;溶解性有机碳;有效氮磷

Effect of drainage on dissolved organic carbon and available nitrogen and phosphorus in the wetland forests of Xiaoxing'an Mountain

JIANG Shan,ZHAO Guangying*,ZANG Shuying,SHAO Zongren

Key Laboratory of Remote Sensing Monitoring of Geographic Environment in Common Universities of Heilongjiang Province,*Harbin Normal University*,*Harbin 150025*, *China*

Abstract: The effect of drainage on soil dissolved organic carbon (DOC) in the Xiaoxing'an Mountain forests was investigated by selecting *Larix gmelinii* plantation wetlands of different ages (drain in 1974, drain in 1985, drain in 1992, and drain in 2003), as well as a natural forest swamp wetland (*L. gmelinii* marsh). The results showed that soil DOC content decreased vertically with soil depth for all sites. Compared with the natural forest wetland, the DOC content in all soil layers was lower ($P<0.05$). The soil organic carbon (SOC) content, DOC/SOC, and soil available nitrogen (N) in the surface layer (0-10 cm) of the natural forest swamp were all higher than those in the drained forests. In contrast, the available phosphorus (P) content was lower in the natural wetland than in the drained forests ($P<0.05$). In the soil surface (0—10 cm), the time since drainage was significantly negatively correlated with DOC, DOC/SOC, SOC, and soil N, and was significantly positively correlated with the available P ($P<0.05$). After drainage of the soil surface (0—10 cm), DOC and available N (ammonium nitrogen, nitrate nitrogen) were inversely proportional to the effective P ($P<0.05$). In the forest wetlands where drainage ditches were dug, the soil moisture status was changed to promote the forest growth. Overall, the area of the Xiaoxing'an Mountain forest wetlands covers 106.96 ten thousand ha, with great carbon sequestration potential. Its average carbon density was higher than natural forest carbon densities, as well as the carbon density of the

基金项目:国家自然科学基金项目(41301082,4157012165);黑龙江省博士后资助项目(LRB13-200)

收稿日期:2015-09-24; **网络出版日期:**2016-07-13

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: zhaoguangying2004@126.com

forest vegetation in Heilongjiang Province. It therefore plays an important role in the regional carbon cycling. Since the 1970s, the wetlands in the Xiaoxing'an Mountain forests have been greatly influenced by human activities, and mainly by wetland drainage. Movement of soil DOC with wetland drainage occurred in the directions of the water movement. A portion of the soil DOC moved along the horizontal and vertical direction of the drainage ditches, or was lost directly to the water. At present, research on the impacts of human activities on DOC is mainly focused on how wetland reclamation for farmland changes DOC, as well as the effects of different land use patterns on soil DOC. In this study, we researched the forest swamps of the Xiaoxing'an Mountain forests. We conducted a quantitative study on the changes of soil DOC and SOC after drainage and transformation, in order to understand the role of DOC in the regional ecosystem's carbon cycle and the mechanisms of carbon transformation, in order to provide a theoretical basis for the management and sustainable development of the regional wetland ecosystems.

Key Words: drainage; Xiaoxing'an Mountains; dissolved organic carbon; effective nitrogen and phosphorus

溶解性有机碳(DOC)是指能通过0.45 μm滤膜,可溶于水或酸碱溶液,由一系列大小和结构不同的有机物质组成的有机碳。虽然DOC占土壤有机碳的比例很小,它却是有机碳库中最活跃的组成部分[1]。DOC比较敏感,可以在土壤全碳变化之前反映土壤微小变化,又直接参与土壤生物化学转化过程,因而,对土壤碳库平衡和土壤化学、生物化学肥力保持、以及全球生态系统碳循环具有重要意义[2]。土壤中有效氮主要以铵态和硝态形式存在,也是植物从土壤中吸收氮素的主要形态,土壤有效磷是指土壤中对植物有效或可被植物利用的磷。

小兴安岭森林沼泽湿地面积106.96万 hm^2,固碳潜力巨大,其平均碳密度高于黑龙江省天然林碳密度及全国森林植被碳密度水平[3],在区域碳循环中发挥着重要作用。20世纪70年代以来,小兴安岭森林沼泽湿地深受人类活动的影响,其中排水造林是湿地遭受到的主要干扰方式。湿地排水造林即在湿地内挖排水沟,改变土壤水分状况以促进乔木的生长,但是对于湿地却是一种破坏,改变了土壤结构以及土壤肥力。湿地排水使土壤DOC发生空间运移,一部分土壤DOC沿着排水沟渠水平和垂直方向重新分布或直接迁移到其它水域中,而另一部分土壤DOC在迁移过程中损失[4]。而且,湿地排水疏干后,地表由常年积水或季节性积水转变为非积水或干旱状态,土壤水热环境发生变化,由厌氧环境变为好氧环境,土壤有机质分解速率加快[5]。排水对森林沼泽湿地土壤溶解性有机碳含量和有效氮磷含量具有重要影响,但目前国内外很多此类研究主要集中在平原草本沼泽湿地,而关于中高纬度森林沼泽湿地的相关研究还不是很多见,而且关于人类活动对湿地DOC所产生的影响,主要集中在湿地垦殖为农田后DOC的变化[6]。本文以小兴安岭排水森林沼泽为研究对象,研究森林沼泽经过长期排水改造后土壤DOC、土壤有机碳和土壤有效氮磷的变化,以期为深入了解DOC,和有效氮磷在区域生态系统碳氮循环中的动态变化,为小兴安岭森林沼泽湿地生态系统的管理和可持续发展提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究地点位于小兴安岭中段,黑龙江省东北部伊春市友好林业局永青林场(48°03′53″N,128°30′36″E),平均海拔在260—500 m,属于温带大陆湿润季风气候。年平均气温约0.4 ℃,年积温为2000—2500 ℃。年平均降雨量为630 mm,全年有两个降水高峰期,一个是冬季降雪,另一个是每年7—8月的降雨,高峰期降水占全年降雨量的70%。无霜期约为110 d。地带性土壤为暗棕壤,其次为草甸土和沼泽土。典型植被为红松阔叶混交林,目前大部分已退化为次生林和人工林,森林覆盖率为74.8%。研究区尚有沼泽湿地4302 hm^2,湿地类型丰富,包括森林沼泽、灌丛沼泽、草丛沼泽、藓类沼泽和泥炭藓沼泽等多种湿地类型,其中以兴安落叶松森林沼泽为主要类型[7]。

1.2 样品采集

2015 年 5 月,在伊春市友好林业局永青林场选择 4 块样地,分别是 1974 年、1985 年、1992 年、2003 年进行排水的兴安落叶松人工林作为样地,标记为 PS74、PS85、PS92、PS03。天然森林沼泽选择人工林附近与排水造林的沼泽类型相对应的森林沼泽(兴安落叶松沼泽),标记为 XA。在每个调查样地内,用“S”型的布设方式采样,各取 5 个样点,采样土壤剖面深度为 40 cm,去除枯枝落叶层后,用 5 cm 内径的土钻于 0—10、10—20、20—40 cm 分层采集,共计 75 个土壤样品。采集的新鲜土样带回室内,除去动植物残体、石块等杂物,分成 2 份。一份立即过 2 mm 孔径的尼龙筛,混匀、密封置于 4 ℃冰箱中避光保存,用于 DOC 测定; 另一份自然风干,用于土壤有机碳(SOC)以及其他土壤理化性质测定。

1.3 实验方法

土壤 DOC 含量测定:称取 10 g 鲜土放入盛有 50 mL 蒸馏水的三角瓶中,常温 25 ℃下振荡浸提 30 min,高速离心 10 min,上清液用 0.45 μm 滤膜过滤,用 TOCVCPH 仪测定浸提液中的有机碳浓度,得到 DOC 浓度。最后,通过水土比将 DOC 浓度(mg/L)值换算成土壤 DOC 含量(mg/kg)[8]。土壤有机碳(SOC)的测定:采用 Multi N/C 2100 TOC 仪(德国耶拿)高温燃烧法测定土壤 SOC 含量[9]。土壤铵态氮、硝态氮采用比色法测定。土壤有效磷采用 $HClO_4$-H_2SO_4 浸提,钼锑钪比色法测定[10]。

1.4 统计分析方法

利用 Excel 2003 和 SPSS 19.0 软件对数据进行统计分析,采用 SPSS 19.0 软件进行单因素方差分析(one-way ANOVA),应用最小显著差异法(least-significant-difference, LSD)对数据组间差异进行显著性检验; 显著性水平设定为 $\alpha = 0.05$。采用 Pearson 法进行相关性分析,图表中数据为平均值±标准差,相关图表制作在 OriginPro 8.5 中完成。

2 结果与分析

2.1 排水对森林沼泽湿地土壤溶解性有机碳的影响

在垂直剖面上,不同排水年限的 DOC 含量均呈现自上向下逐渐降低的趋势。不同排水年限,土壤表层(0—10 cm),DOC 含量分别为 241.02、307.1、462.03、771.95 mg/kg(图 1),表现为 PS74<PS85<PS92<PS03,差异性显著($P < 0.05$)。而在其他土壤深度上,不同排水年限间的 DOC 含量,差异性不显著($P > 0.05$)。湿地排水时间越长,土壤表层(0—10 cm)DOC 含量越低,排水时间与 DOC 含量呈显著性负相关($P < 0.05$),在其他深度上,排水时间与 DOC 含量,相关性并不显著($P > 0.05$)。

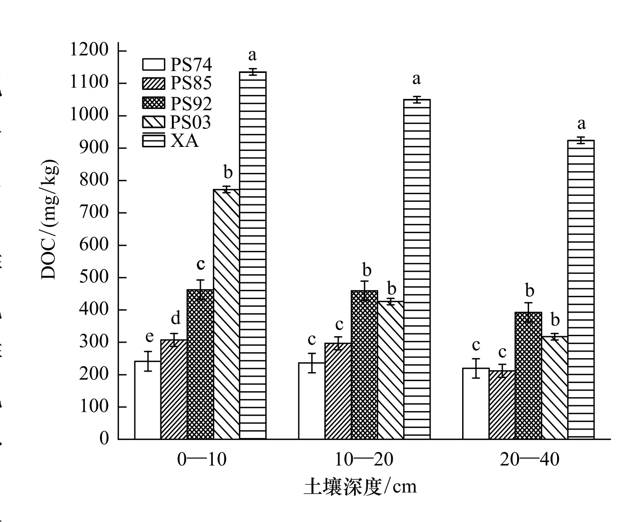


图 1　排水与天然森林沼泽的 DOC 含量在垂直剖面上分布对比图

Fig.1　Distribution of DOC content in the vertical section of the drainage and natural forest swamp

PS74、PS85、PS92、PS03 分别代表从 1974、1985、1992、2003 年开始排水,XA 代表兴安落叶松天然沼泽; 图中不同字母表示差异显著($P < 0.05$),相同字母表示差异不显著($P > 0.05$);图中数据为平均值±标准差($n = 3$)

天然森林沼泽和排水森林沼泽的 DOC 含量在垂直剖面上均呈现自上而下递减的趋势。PS74、PS85、PS92、PS03 与天然沼泽对比,土壤表层 DOC 含量分别减少了 79%、73%、59%、32%。在土壤 10—20 cm,DOC 含量分别减少了 78%、72%、56%、59%。在土壤 20—40 cm,DOC 含量分别减少了 76%、77%、57%、65%(图 1)。由此看出,排水森林沼泽的 DOC 含量,在不同深度上均小于天然沼泽。其中在土壤表层 0—10 cm,排水沼泽与天然沼泽对比,不同排水年限的 DOC 减少百分比差异性显著($P < 0.05$),而且随着排水年限增加,DOC 含

量减少得越多,呈显著性正相关关系($P<0.05$)。在其他深度上,不同排水年限的 DOC 减少百分比,差异性不显著($P>0.05$),DOC 减少百分比与排水时间,相关性不显著($P>0.05$)(表 1)。

2.2 排水对森林沼泽湿地土壤有机碳的影响

2.2.1 天然森林沼泽与排水森林沼泽的 SOC 含量对比

天然森林沼泽与排水森林沼泽的 SOC 含量,在土壤表层 0—10 cm,分别为 312.94、225.09、243.77、260.68、286.67 g/kg,大小关系为 PS74<PS85<PS92<PS03<XA。天然森林沼泽的 SOC 含量在表层显著大于排水森林沼泽的 SOC,差异性显著($P<0.05$)。PS74、PS85、PS92、PS03 与天然沼泽对比,土壤表层 SOC 含量分别减少了 28%、22%、17%、8%(图 2)。进而得出规律,随着排水年限的增加,SOC 含量呈递减规律,即排水年限与 SOC 含量,呈显著性负相关($P<0.05$)。然而在其他深度上,天然森林沼泽与排水森林沼泽的 SOC 含量,差异性不显著($P>0.05$),排水时间与 SOC 含量,相关性不显著($P>0.05$)(表 1)。

2.2.2 排水对森林沼泽湿地土壤 DOC 占 SOC 比例的影响

土壤 DOC 占 SOC 的比例(DOC/SOC)是反映土壤碳库质量的重要指标,可以用来指示有机碳的稳定性、有效性和水溶性,研究土壤 DOC/SOC 更有助于了解排水对土壤中有机碳转化的影响。

在土层 0—10 cm,排水森林沼泽 DOC/SOC 的比值在 0.11%—0.27%(图 3),差异性显著($P<0.05$),并且表现为随着排水年限增加而递减,呈显著性负相关关系($P<0.05$)。在土层 10—20 cm 处,排水的森林沼泽 DOC/SOC 的比值在 0.1%—0.16%,排水年限与 DOC/SOC 相关关系不显著($P>0.05$),不同排水年限间的 DOC/SOC 的比值,差异性不显著($P>0.05$)。在土层 20—40 cm 处,排水的森林沼泽 DOC/SOC 的比值在 0.07%—0.14%,排水年限与 DOC/SOC 相关关系并不显著($P>0.05$),不同排水年限间的 DOC/SOC 的比值,差异性不显著($P>0.05$)。天然森林沼泽的 DOC/SOC,在不同土壤深度上均大于排水森林沼泽,呈显著性差异($P<0.05$)(表 1)。

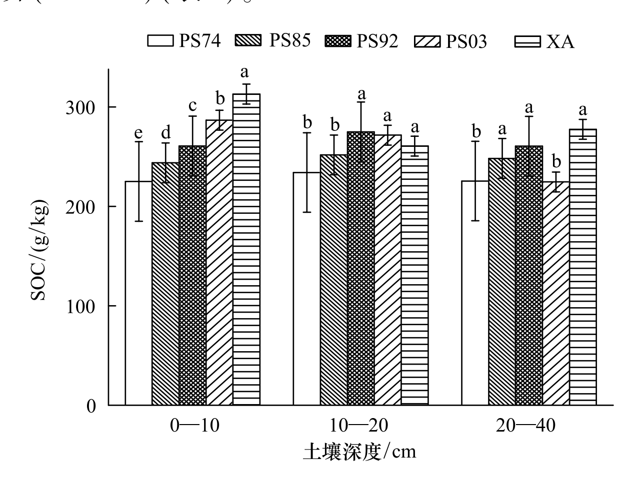


图 2 排水与天然森林沼泽的 SOC 含量垂直分布特征对比图

Fig.2 Comparison of vertical distribution of SOC content in drainage and natural forest swamp

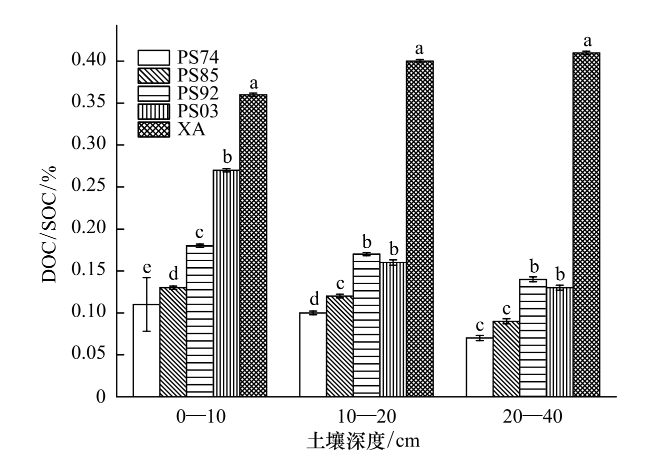


图 3 排水森林沼泽与天然森林沼泽的 DOC/SOC 垂直分布特征对比图

Fig. 3 DOC/SOC vertical distribution characteristics of the drainage forest and natural forest swamp

同时排水森林沼泽的 DOC 与 SOC 具有一定的相关关系,在 0—10、10—20、20—40 cm,相关系数分别为 0.9671、0.1189、0.2087。由此看出,排水的 DOC 与 SOC 只有在表层 0—10 cm 才呈正相关,而且是显著性相关($P<0.05$)。在其他深度上,无相关性($P>0.05$)。

2.3 排水对森林沼泽湿地有效氮、磷的影响

2.3.1 排水对森林沼泽湿地土壤有效氮的影响

土壤中有效氮主要以铵态和硝态形式存在,也是植物从土壤中吸收氮素的主要形态[11]。铵态氮含量在垂直剖面上,分布并无明显差异($P>0.05$)。排水森林沼泽,在表层 0—10 cm,铵态氮含量明显低于天然森林

沼泽,差异性显著($P<0.05$)。而且随着排水年限的增加逐渐递减,呈极显著性负相关($P<0.01$)。在其他深度上,天然沼泽铵态氮含量没有明显的大于排水森林沼泽,差异性不显著($P>0.05$)(图 4),排水年限与铵态氮含量,相关性不显著($P>0.05$)。排水森林沼泽的 DOC 含量与铵态氮含量之间呈正比,呈显著性正相关($P<0.05$)(表 1)。

表 1　所有数据的相关性表

Table 1　Table of correlation of all data

项目 Project	相关系数 Pearson Correlation	显著性 Sig.(2-tailed)
DOC 与排水年限 DOC and the time of drainage	-0.954 *	0.046
DOC 减少百分比与排水年限 DOC reduction percentage and the time of drainage	0.956 *	0.044
SOC 与排水年限 SOC and the time of drainage	-0.975 *	0.025
DOC/SOC 与排水年限 DOC/SOC and the time of drainage	-0.954 *	0.046
铵态氮与排水年限 Ammonium nitrogen and the time of drainage	-0.995 **	0.009
硝态氮与排水年限 Nitrate nitrogen and the time of drainage	-0.957 *	0.045
铵态氮与 DOC Ammonium nitrogen and DOC	0.959 *	0.041
硝态氮与 DOC Nitrate nitrogen and DOC	0.969 *	0.031
有效磷与排水年限 Available phosphorus and the time of drainage	0.995 **	0.002
有效磷与 DOC Available phosphorus and DOC	-0.954 *	0.046

* * 极显著相关,$P<0.01$; * 显著相关,$P<0.05$

土壤硝态氮的含量,在垂直剖面上,自上而下呈递减规律。天然森林沼泽的土壤硝态氮含量在不同深度上均大于排水森林沼泽。其中在表层 0—10 cm,随着排水年限的增加,而出现土壤硝态氮含量逐渐递减的规律,即排水年限与土壤硝态氮含量呈显著性负相关($P<0.05$)。在其他深度上,不同排水年限间的土壤硝态氮含量,差异不显著($P>0.05$),排水年限与土壤硝态氮含量,相关性不显著($P>0.05$)(图 5)。排水森林沼泽的土壤硝态氮含量与土壤溶解性有机碳含量之间呈正比,呈显著性正相关($P<0.05$)(表 1)。

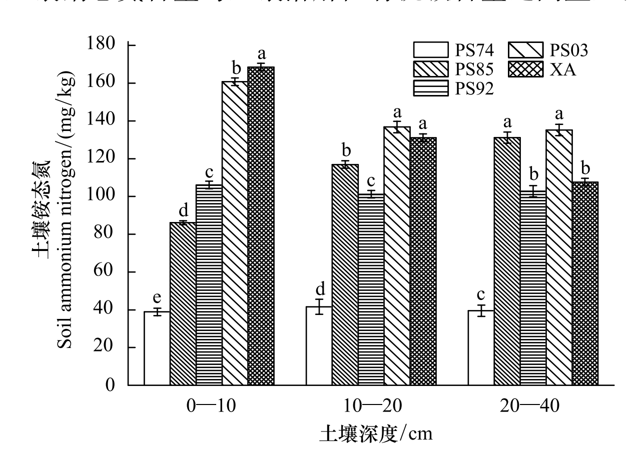


图 4　排水森林沼泽与天然森林沼泽的土壤铵态氮含量垂直分布对比图

Fig.4　Comparison Chart of soil ammonium nitrogen content in drainage forest and natural forest swamp

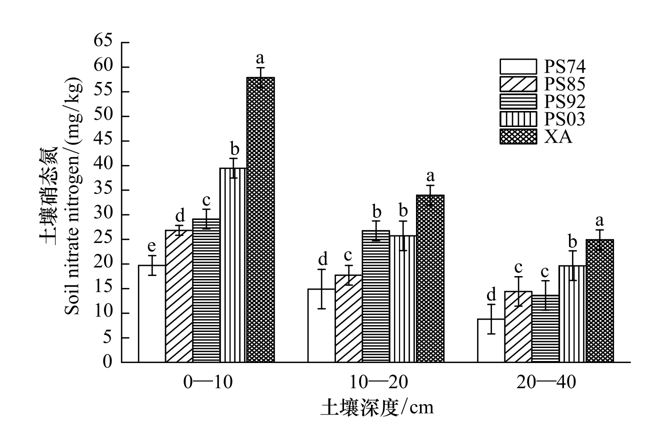


图 5　排水森林沼泽与天然森林沼泽的土壤硝态氮含量垂直分布对比图

Fig.5　Comparison Chart of soil nitrate nitrogen content in drainage forest and natural forest swamp

2.3.2　排水对森林沼泽湿地土壤有效磷的影响

土壤有效磷含量,在垂直剖面上,自上而下呈递减的规律。土壤有效磷含量的垂直分布,天然森林沼泽的含量明显低于排水森林沼泽,而且各层均小于排水的土壤有效磷含量。其中在表层 0—10 cm,不同排水年限间的土壤有效磷含量,差异性显著($P<0.05$),而且随着排水年限的增加,土壤有效磷含量增加,与排水年限呈

极显著性正相关(P <0.01)。在其他深度上,不同排水年限间的土壤有效磷含量,差异性不显著(P >0.05)(图 6)。排水森林沼泽的土壤溶解性有机碳含量与土壤有效磷含量呈显著性负相关(P <0.05)(表 1)。

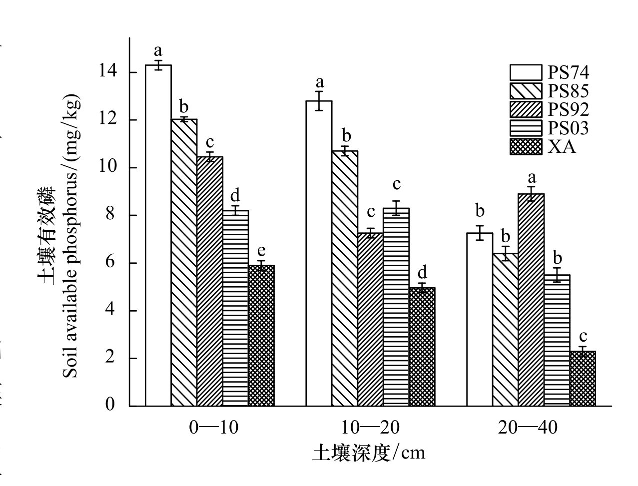


图 6 排水森林沼泽与天然森林沼泽的土壤有效磷含量垂直分布对比图

Fig.6 Comparison Chart of soil available P content in drained forest and natural forest

3 讨论

3.1 排水对森林沼泽湿地土壤溶解性有机碳的影响

水文条件是湿地重要的生态属性,水分条件变化如土壤含水量、水位波动等都会影响湿地大气-植被-土壤之间碳的生物地球化学过程各环节的方向与强度[12]。通过挖排水沟渠,人为的对森林沼泽湿地进行排干,使湿地的水分条件发生变化。湿地排水疏干后,地表由于常年积水或季节性积水转变为非积水或干旱状态,土壤水热环境发生变化,由厌氧环境变为好氧环境,微生物活性增强[13],土壤有机质分解速率加快。随着湿地排干后水位、植被群落的变化,生态系统由长期以来的净碳汇转变为连续的碳排放源。湿地排水后的生态系统一开始 DOC 产生量迅速增加,同时 DOC 的流失也增加,这是由于湿地排水后,土壤 DOC 发生空间运移,一部分土壤 DOC 沿着排水沟渠水平和垂直方向重新分布或直接迁移到其它水域中,而另一部分土壤 DOC 在迁移过程中损失,这将导致湿地生态系统更多的碳输出。而且,随着排水时间的增加,pH 值逐渐降低(P <0.05)。杨玉盛等[14]发现酸性土壤中 DOC 吸附能力随 pH 值降低而减小,因此,DOC 吸附能力降低,DOC 沿着排水沟渠发生流失。同时,排水造林活动会对土壤产生强烈的扰动,使原有的植被类型发生变化,湿地原有的结构、生产力也发生改变,从而影响了碳汇功能乃至土壤 DOC 含量的变化。而且,湿地排水沟渠的建设也改变了土壤 DOC 的释放过程和传输途径,导致不同沟渠沉积物中 DOC 的含量发生变化[15]。而且人类的排水造林活动,使作为 DOC 主要来源的地表枯落物也会减少。因为天然林大都是成熟或近成熟林,因而积累的凋落物较多,人工林处于幼林阶段凋落物积累较少,其碳密度也就减少[16],因此天然森林沼泽的 DOC 含量大于排水的森林沼泽。凋落物的减少,进一步影响了 DOC 产生量。而且沿着排水沟渠,DOC 发生迁移,使 DOC 最终含量减少。因此,排水湿地土壤 DOC 含量比未排水的天然森林沼泽低,而且排水时间越长,排水湿地表层(0—10 cm),土壤 DOC 含量越少。

3.2 排水对森林沼泽湿地土壤有机碳的影响

湿地土壤有机碳含量的多少是衡量土壤各指标的多少标准,有机碳含量高说明有机质含量大,说明土壤通气性不好,含水量比较高。水的深度对有机碳的矿化有很大的影响。有机碳主要和土壤中原来有机质分解速度和外界能源有关,生长的植物的根系和根系分泌物、植物的掉落物、自然的因素有降水温度等的输入量也有很大关系[17]。因此,森林沼泽湿地被排水后,土壤因水分减少而由嫌气环境变成好气环境,此时,土壤中微生物的活性增强,有机残体分解加快,泥炭层和草根层也迅速被氧化而丧失了碳的积累能力,从而由“碳汇”变成"碳源”。而且随着地表凋落物的减少,有机质的来源变少,以及土壤团粒体结构发生变化,对 C 素吸附能力降低[18],最终土壤有机碳含量降低。天然森林沼泽的有机碳含量也因此大于排水的森林沼泽。而且随着排水时间的增加,排水湿地表层(0—10 cm),土壤 SOC 含量越少,土壤 DOC/SOC 的比值也越少。

3.3 排水对森林沼泽湿地土壤有效氮、磷的影响

硝态氮和铵态氮是两种可被植物直接吸收利用的有效态氮,其含量变化显著影响着湿地土壤氮的迁移与转化过程[19]。而湿地土壤中溶解性有机碳、铵态氮、硝态氮,有效磷等是湿地生态系统中极其重要的生态因子,是土壤营养水平的重要指示物,显著影响湿地生态系统的生产力[20]。

湿地排水后,水热条件发生变化,水分变少,湿地土壤的含水量降低。美国土壤科学家 Staoford 和 EPstein 认为在环境因子中,水分对氮矿化影响极大,土壤氮矿化率随水分含量的变化而变化。随含水量的增加,土壤氮矿化量增加[21]。因此,排水后土壤含水量降低,导致土壤氮矿化水平降低,土壤有机氮转化为铵态氮和硝态氮就变少。而且排水后,土壤对铵态氮和硝态氮的吸附能力降低,同时排水后新栽的落叶松,通过根系吸收大量的有效氮,来促进自身生长,最后导致土壤中有效氮减少。最终天然森林沼泽的有效氮含量大于排水森林的,并且在土壤表层(0—10 cm),随着排水时间的增加,有效氮(铵态氮、硝态氮)含量减少。

土壤有效磷是指土壤中对植物有效或可被植物利用的磷。不少研究都发现,土壤中水分的增减使土壤氧化还原条件改变从而造成土壤中铁氧化物的形态变化与土壤中磷的吸附与释放过程直接相关,吸附释放量的增减使磷的有效性的发生改变[22]。同样章永松[23]等发现淹水会使土壤磷的吸持增加,他们认为虽然整体土壤为还原环境,但是还原了的 Fe^{2+} 扩散到氧化薄层中并氧化形成无定形铁,其强烈的吸附磷的作用使得磷的有效性降低。因此当人类对湿地进行排水,使湿地长期处于氧化环境,土壤对磷的吸附能力降低,土壤有效磷含量增加。天然森林沼泽的有效磷小于排水的,并且土壤有效磷含量,在土壤表层(0—10 cm),随排水时间的增加而增加。

土地利用方式的变化可以改变土壤的植被覆盖同时也会引起土壤管理措施的改变,进而引起土壤有效氮、磷,在土壤系统中的再分配,进而影响到土壤有机碳库的循环过程。本文研究表明:土壤 DOC 含量与土壤有效氮磷关系密切。排水后的表层(0—10 cm)土壤 DOC 与有效氮(铵态氮、硝态氮)成正比,与有效磷成反比,这一结论与蓝家程[24]的研究基本一致。

4 结论

本文研究排水对小兴安岭森林沼泽湿地土壤溶解性有机碳(DOC)和有效氮磷的影响。结果表明,在垂直剖面上,不同排水年限的森林湿地与天然沼泽湿地的土壤溶解性有机碳含量均呈递减变化。与天然森林沼泽湿地相比,排水湿地各土层 DOC 含量均低于天然沼泽湿地($P<0.05$)。天然森林沼泽的表层(0—10 cm)土壤 SOC 含量、DOC/SOC、土壤有效氮含量均大于排水森林沼泽,但是天然沼泽的有效磷含量小于排水的($P<0.05$)。在土壤表层(0—10 cm),排水时间与 DOC、SOC、DOC/SOC、土壤有效氮呈显著性负相关,与有效磷呈显著性正相关($P<0.05$)。排水后的表层(0—10 cm)土壤 DOC 与有效氮(铵态氮、硝态氮)成正比,与有效磷成反比($P<0.05$)。土壤 DOC 与土壤有效氮磷关系密切,可以作为衡量土壤肥力变化的指标之一。

参考文献(References):

[1] 王晶, 张旭东, 解宏图, 朱平, 姜桂敏. 现代土壤有机质研究中新的量化指标概述. 应用生态学报, 2003, 14(10): 1809-1812.

[2] 李玲, 仇少君, 刘京涛, 刘庆, 陆兆华. 土壤溶解性有机碳在陆地生态系统碳循环中的作用. 应用生态学报, 2012, 23(5): 1407-1414.

[3] 李婉姝, 牟长城, 吴云霞, 徐蕊. 小兴安岭地区天然沼泽林生产力与植被碳密度. 东北林业大学学报, 2010, 38(8): 39-44.

[4] 崔保山, 杨志峰. 湿地生态系统模型研究进展. 地球科学进展, 2001, 16(3): 352-358.

[5] 周文昌, 牟长城, 刘夏, 顾韩. 小兴安岭天然森林沼泽生态系统碳汇功能. 东北林业大学学报, 2012, 40(7): 71-75, 127-127.

[6] 孔凡亭, 李悦, 郗敏, 孔范龙, 陈蕘. 湿地土壤溶解性有机碳研究进展. 青岛理工大学学报, 2012, 34(3): 64-70.

[7] 石兰英, 牟长城, 田新民, 金建丽, 金志民. 小兴安岭不同沼泽甲烷排放及其影响因子. 生态学报, 2010, 30(19): 5289-5295.

[8] 李忠佩, 张桃林, 陈碧云. 可溶性有机碳的含量动态及其与土壤有机碳矿化的关系. 土壤学报, 2004, 41(4): 544-552.

[9] 张文菊, 吴金水, 童成立, 杨钙仁, 胡荣桂, 唐国勇. 三江平原湿地沉积有机碳密度和碳储量变异分析. 自然资源学报, 2005, 20(4): 537-544.

[10] 谭波, 吴福忠, 杨万勤, 杨玉莲, 王奥, 康丽娜. 雪被去除对川西高山森林冬季土壤温度及碳、氮、磷动态的影响. 应用生态学报, 2011, 22(10): 2553-2559.

[11] 赵晶,闫文德,郑威,李忠文. 樟树人工林凋落物养分含量及归还量对氮沉降的响应. 生态学报, 2016, 36(2): 350-359.

[12] 侯翠翠, 宋长春, 李英臣, 郭跃东. 不同水分条件下小叶章湿地表土有机碳及活性有机碳组分季节动态. 环境科学, 2011, 32(1): 290-297.

[13] 杨桂生, 宋长春, 宋艳宇, 侯翠翠. 三江平原小叶章湿地剖面土壤微生物活性特征. 生态学报, 2010, 30(22): 6146-6153.

[14] 杨玉盛, 郭剑芬, 陈光水, 陈银秀, 于占源, 董彬, 刘东霞. 森林生态系统 DOM 的来源、特性及流动. 生态学报, 2003, 23(3): 547-558.
[15] 郗敏, 孔范龙, 吕宪国. 三江平原不同土地利用方式下沟渠沉积物可溶性有机碳含量和分布. 水土保持学报, 2008, 22(3): 132-135.
[16] 康文星, 田徽, 何介南, 席宏正, 崔莎莎, 胡燕平. 洞庭湖湿地植被系统的碳贮量及其分配. 水土保持学报, 2009, 23(6): 129-133, 148-148.
[17] 宋长春, 王毅勇, 阎百兴, 娄彦景, 赵志春. 沼泽湿地开垦后土壤水热条件变化与碳、氮动态. 环境科学, 2004, 25(3): 150-154.
[18] 王媛华, 苏以容, 李扬, 胡乐宁, 吴金水. 水田和旱地土壤有机碳周转对水分的响应. 中国农业科学, 2012, 45(2): 266-274.
[19] 孙志高, 刘景双, 牟晓杰. 三江平原小叶章湿地土壤中硝态氮和铵态氮含量的季节变化特征. 农业系统科学与综合研究, 2010, 26(3): 277-282.
[20] Mitsch W J, Gosselink J G. Wetlands. New York: Van Nos-trand Reinhold Company Inc., 2000.
[21] 唐树梅, 漆智平. 土壤水含量与氮矿化的关系. 热带作物研究, 1997, (4): 54-60.
[22] 石文静. 土壤有机磷的研究进展. 安徽农业科学, 2014, 42(33): 11697-11701, 11703-11703.
[23] Zhang Y S, Lin X Y, Ni W Z. Effects of flooding and subsequent air-drying on phosphorus adsorption, desorption and available phosphorus in the paddy soils. Chinese journal of Rice Science, 1998, 12(1): 40-44.
[24] 蓝家程, 傅瓦利, 段正峰, 袁波, 彭景涛, 张婷. 岩溶山区土壤溶解性有机碳对土地利用方式的响应及其与土壤养分的关系. 水土保持研究, 2011, 18(5): 76-80, 86-86.